

**10.02.23.**

**15 група**

### **Процеси випарювання та упарювання.**

Тема: Процеси випарювання та упарювання.

Випарюванням називається процес концентрування розчинів твердих нелетких речовин шляхом вилучення леткого розчинника під час кипіння. За допомогою випарювання одержують і перенасичені розчини, в яких після цього проводять кристалізацію, наприклад, розчини сахарози, фруктози, молочного цукру та ін.

Випарювання широко застосовують у цукровому, консервному, кондитерському, молочному та інших виробництвах для концентрування цукрових та вітамінних сиропів, плодових і овочевих соків, фруктово-ягідних начинок, молока, вершків та ін. Особливо важливий цей процес при виробництві цукру. Підраховано, що протягом одного сезону на цукрових заводах СНД випарюють близько 106 т води, а в США щорічно на підприємствах харчової промисловості випарюється майже 108 т води з цукрового сиропу, фруктових соків, молока, кавових екстрактів і т. д.

У процесі випарювання рідкий леткий розчинник випаровується із розчину, внаслідок чого концентрація сухих речовин у ньому безперервно збільшується. Перетворення рідини в пароподібний стан відбувається за будь-якої температури. Однак розрізняють два процеси: випаровування і кипіння.

**Випаровування** - це перехід речовини з рідкого або твердого стану в газоподібний шляхом підведення до неї теплоти.

Причиною випаровування з вільної поверхні рідини є тепловий рух її молекул. Після нагрівання рідини до відповідної температури в ній з'являються молекули, що володіють енергією, яка дозволяє їм подолати сили зчеплення і піти в довкілля. Проте не всі ці молекули залишаються в довкіллі: після зіткнення з молекулами газу частина їх повертається до поверхні випаровування. Молекули, що повертаються, можна розподілити на дві частини. Молекули з достатньо високою кінетичною енергією, переборюючи значні сили зчеплення поверхневого шару рідини, проникають усередину та залишаються в ній. Інша частина молекул з менш високим енергетичним рівнем відбивається від поверхні рідини і остаточно залишається в довкіллі.

**Кипінням** називається процес переходу рідини, що знаходиться при температурі насичення або дещо перегрітої відносно цієї температури, в пару всередині її об'єму з утворенням парових бульбашок. Процес пароутворення пов'язаний з підведенням теплоти, необхідної для фазового переходу рідини в пару, що називається теплотою пароутворення.

Температура киплячої рідини непостійна, вона зменшується в міру віддалення від поверхні нагрівання.

Розрізняють кипіння в об'ємі рідини (об'ємне кипіння) і на поверхні нагрівання (поверхневе кипіння). У першому випадку бульбашки пари зароджуються в будь-якій точці об'єму рідини під час значного її перегрівання відносно температури насичення ( $T_P > T_S$ ), що можливо або при різкому зниженні тиску над рідиною, або за наявності в рідині внутрішніх джерел теплоти. У випадку поверхневого кипіння бульбашки пари утворюються тільки на поверхні нагрівання в окремих її точках - центрах пароутворення. Центрами пароутворення є нерівності поверхні нагрівання (мікровпадини, шорсткості, тріщини), бульбашки газу або пари і найдрібніші тверді частинки. Для сучасної теплоенергетики характерне поверхневе кипіння на стінках труб, каналів, циліндричних, сферичних та інших поверхонь. Встановлене існування двох основних видів поверхневого кипіння: бульбашкового і плівкового. Під час бульбашкового кипіння на поверхні нагрівання періодично утворюються бульбашки пари, для зародження яких рідина повинна бути перегрітою. Бульбашки перегрітої пари, досягнувши розмірів 2-3 мм, відриваються від стінки і починають рухатися вгору під впливом підйомної архімедової сили, збільшуючись в об'ємі в десятки разів за рахунок інтенсивного випаровування навколишньої рідини. Об'єм бульбашки пари тим більший, чим вищий перегрів рідини і чим більший час спливання бульбашки. Встановлено, що приблизно 95% пари утворюється під час руху бульбашок у товщі рідини та 5% - під час розвитку їх на поверхні нагрівання. Коли парових бульбашок стає дуже багато, то вони починають зливатися між собою, утворюючи на поверхні нагрівання парову плівку. Такий вид кипіння називають плівковим.

## **2. Класифікація методів випарювання**

Існують три методи випарювання:

1) **поверхневе** випарювання, що здійснюється шляхом нагрівання розчину на теплообмінній поверхні за рахунок підведення теплоти до розчину через стінку теплообмінного апарата від гріючої пари;

2) **адіабатичне** випарювання, що відбувається шляхом миттєвого випаровування перегрітого розчину в камері, де тиск нижчий, ніж тиск насиченої пари;

3) **випарювання шляхом контактного випаровування**, під час якого розчин нагрівається під час прямого контакту між розчином та гарячим теплоносієм (газом або рідиною), які рухаються. Найчастіше використовують поверхневе випарювання.

Для нагрівання розчинів до температури кипіння використовують різноманітні теплоносії, але найбільше застосовують водяну пару, яка в цьому випадку називається гріючою. Утворена під час випарювання розчину пара називається вторинною, її теплоту може бути використано в теплообмінних апаратах, які працюють під меншим тиском.

Процес випарювання розчинника з розчину можна проводити під вакуумом, за атмосферним та підвищеним тиском.

Під час випарювання під вакуумом знижується температура кипіння розчину, що дає можливість використати для обігрівання апарату пару низького тиску. Цей спосіб особливо застосовується під час випарювання

харчових розчинів, чутливих до високих температур. Перевагою процесу випарювання під вакуумом є зменшення втрат теплоти в навколишнє середовище, а також збільшення корисної різниці температур між гріючою парою та киплячим розчином. Це дає змогу зменшити поверхню теплообміну та габарити всього вакуум-випарного апарата.

При випарюванні під атмосферним тиском утворена вторинна пара звичайно не використовується і викидається в атмосферу.

Випарювання за підвищеного тиску викликає підвищення температури кипіння розчину і дає можливість використання вторинної пари як теплоносія в інших теплообмінниках. Можливість застосування цього способу випарювання залежить від стійкості компонентів розчину, що випарюється. Процес випарювання можна здійснювати в одному апараті (однокорпусна установка) або в ряді послідовно з'єднаних випарних апаратів (багатокорпусна установка). В однокорпусній випарній установці теплота гріючої пари використовується одноразово, а теплота вторинної пари звичайно не використовується. У багатокорпусній випарній установці вторинна пара, яка виходить з будь-якого попереднього корпусу, є гріючою парою для наступного, в якому розчин кипить за більш низького тиску. Цей метод проведення процесу забезпечує значну економію теплоти і тому має широке розповсюдження у промисловості. За методом ведення процесу розрізняють періодичне та безперервне випарювання. Апарати і установки періодичної дії використовуються у виробництвах малого масштабу, коли економія теплоти не має великого значення, або для випарювання розчинів до високих остаточних концентрацій.

### **3. Випарні апарати**

Випарні апарати призначені для проведення процесів випарювання, їх класифікують за певними ознаками: родом теплоносія або методом обігрівання; розташуванням і видом поверхні теплообміну (компоновці та конструкції поверхні нагрівання); розташуванням робочих середовищ; режимом і кратністю циркуляції розчину та ін.

Найбільше застосовуються випарні апарати з паровим обігріванням, тому що водяна пара характеризується високою теплотою конденсації, високим коефіцієнтом тепловіддачі при конденсації; парове обігрівання характеризується гнучкістю регулювання.

За розміщенням поверхні теплообміну апарати можуть бути вертикальними, горизонтальними та похилими. Поверхня теплообміну може бути конструктивно оформлена у вигляді пучка труб, зміювика, кільцевих елементів або у вигляді парової оболонки.

За режимом руху киплячої рідини випарні апарати бувають з вільною, природною, примусовою циркуляцією і плівкові. За кратністю циркуляції розрізняють випарні апарати з однократною і багатократною циркуляцією киплячого розчину.

Існує велика різноманітність конструкцій випарних апаратів. Нині є тенденція до зменшення кількості типів і конструктивних різновидів апаратів за рахунок уніфікації вузлів та деталей.

Враховуючи велике значення характеру циркуляції розчину, звичайно її й беруть як визначальну ознаку під час розгляду конструкцій випарних апаратів. Для випарювання в'язких продуктів та продуктів, що кристалізуються в малотоннажних виробництвах, застосовують оболонкові випарні апарати періодичної дії з вільною циркуляцією і паровим обігріванням. Слабко концентрований розчин подається в апарат, де внаслідок обігрівання виникає вільна циркуляція. Підігрівання ведеться паром, яка надходить в оболонку, до температури кипіння. Після випарювання до необхідної концентрації випарений розчин спускається з апарата і апарат знову наповнюється неконцентрованим розчином.

Для складання матеріального і теплового балансів однокорпусного випарного апарата прийемо такі позначення:  $G$  - кількість розчину, що надходить на випарювання, кг/с;  $G_1$  - кількість кінцевого продукту, кг/с;  $W$  - кількість випареної води, кг/с;  $a$  та  $b$  - відповідно початкова і кінцева концентрації сухих речовин розчину, мас, %. Рівняння матеріального балансу всього процесу випарювання має вигляд:

$$G = G_1 + W$$

Запишемо рівняння матеріального балансу по абсолютно сухій речовині, згідно з яким кількість сухої речовини, що знаходиться в розчині до і після випарювання, не зміниться. Отже  $G a = G_1 b = (G - W) b$

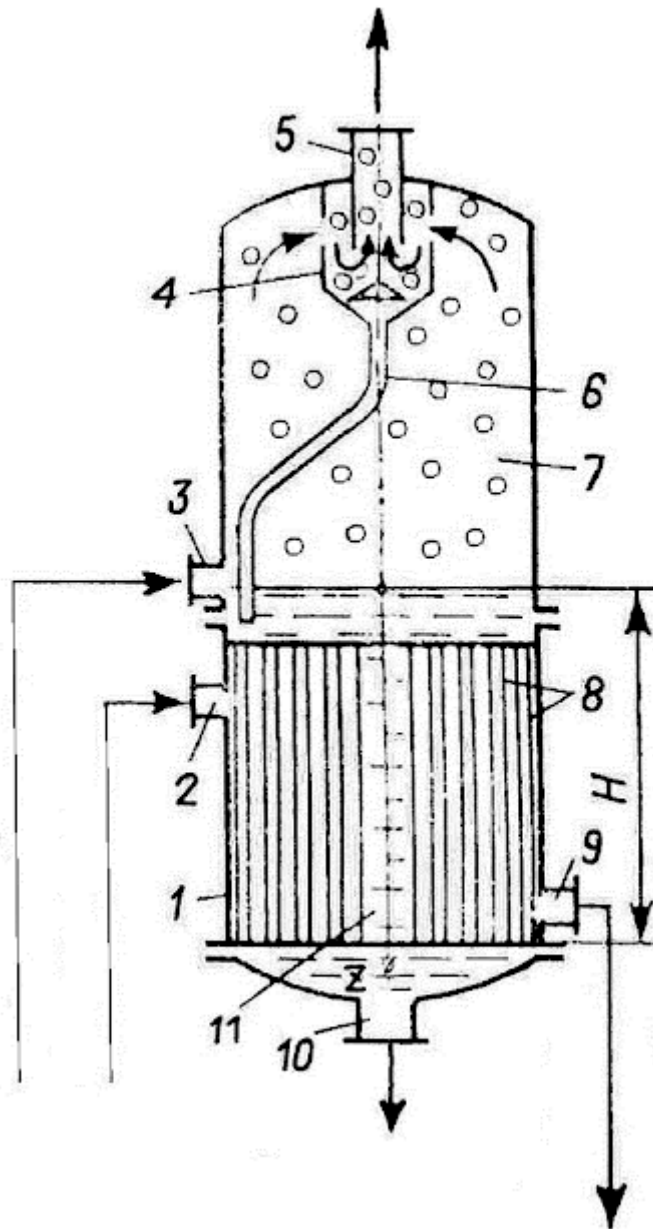
Складемо тепловий баланс випарного апарата і визначимо витрату теплоти на випарювання і витрату гріючої пари.

Введемо додаткові позначення:  $Q$  - витрата теплоти на випарювання, Вт;  $D$  - витрата гріючої пари на випарювання, кг/с;  $i$ ,  $i_1$ ,  $i_2$  - відповідно ентальпія вторинної пари на виході її з апарата, ентальпія гріючої пари і конденсату, Дж/кг;  $c_v$ ,  $c_p$ ,  $c_k$  - відповідно питома теплоємність води, початкового (вихідного) і кінцевого (згущеного) розчину, Дж/(кг·К);  $t_n$ ,  $t_k$  - температура розчину на вході в апарат (початкова) і розчину на виході його з апарата (кипіння), °С;  $Q_v$  - витрата теплоти на компенсацію втрат у довілля, Вт.

Відношення загальної витрати пари  $D$  до кількості води, що випарюється  $W$  називають питомою втратою пари:  $m = D/W$ .

Обмежене застосування знаходять також випарні апарати з вільною циркуляцією, обладнані змійовиковою або трубчастою поверхнями теплообміну.

Випарні апарати з природною циркуляцією розчину поділяються на апарати з центральною циркуляційною трубою, з осьовою зоною кипіння і з виносною гріючою камерою.

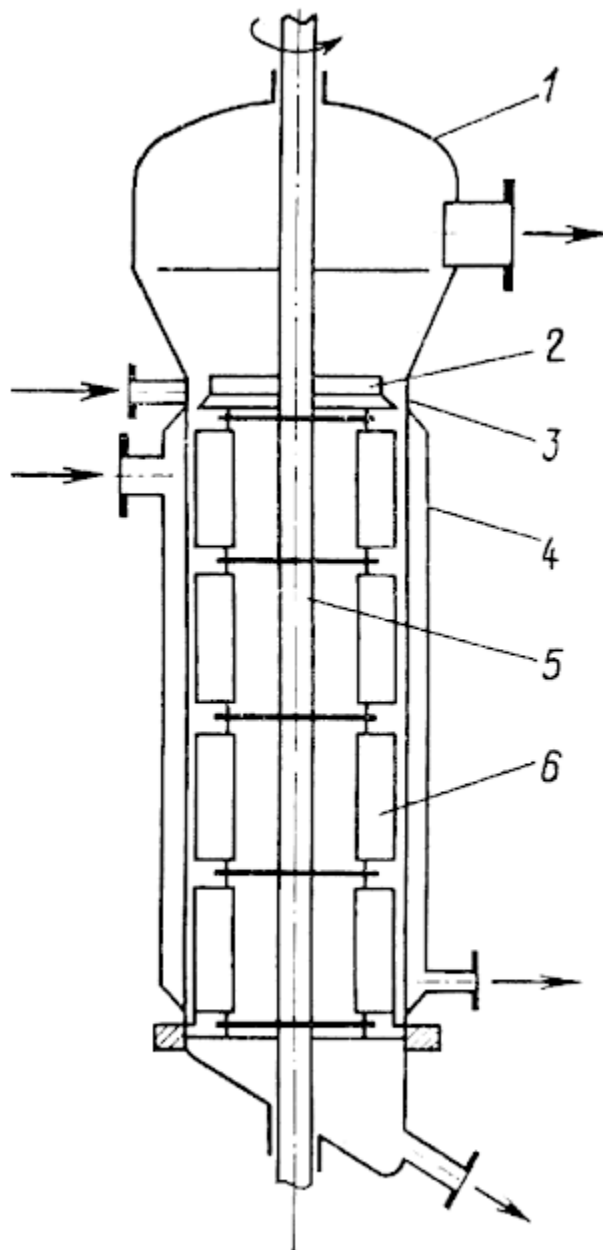


Випарний апарат з центральною циркуляційною трубою (рис. 4.30) має гріючу камеру 1 з трубчастою поверхнею нагрівання, утворену пучком труб з двома трубними решітками, які знаходяться в кожусі-обичайці. Вихідний розчин подають в апарат через штуцер 3. Гріюча пара надходить через штуцер 2 в міжтрубний простір, а конденсат відводиться через штуцер 9. Киплячий розчин разом з вторинною парою рухається в кип'ятільних трубах 8 угору, а по центральній циркуляційній трубі 11 холодний розчин опускається вниз. Таким чином, за рахунок різниці густин розчину в циркуляційній трубі та парорідинної суміші в кип'ятільних трубах забезпечується природна організована циркуляція розчину.

*Рис. 4.31. Випарний апарат з винесеною гріючою камерою*

Вторинна пара у вигляді парорідинної суміші викидається в паровий сепараційний простір 7, з якого він надходить до бризкоуловлювача 4. Бризкоуловлювач призначений для відділення піни і крапель розчину від

вторинної пари; це відбувається завдяки зміні швидкості і напрямку руху вторинної пари. Рідина, що при цьому виділилася, стікає по трубі б у гріючу камеру, а вторинна пара через штуцер 5 виходить з випарного апарата. Конце-нтрований розчин, що є цільовим продуктом, витікає з нижньої частини гріючої камери через штуцер 10. Інколи циркуляційну трубу в апаратах з трубчастою поверхнею нагрівання розміщують ексцентрично або виносять за межі гріючої камери



*Рис. 4.32. Роторно-плівковий випарний апарат*

Апарат з винесеною гріючою камерою (рис. 4.31) складається з гріючої камери 1, виконаної з труб, сепаратора 2 з бризкоуловлювачем 3 та циркуляційної труби 4, з'єднаної з нижньою камерою 5. Гріюча пара надходить у міжтрубний простір трубної камери і обігріває трубки, заповнені рідиною. Парорідинна суміш, що утворюється, розділяється в сепараторі на вторинну пару і рідину, що надходить у циркуляційну трубу 4. За рахунок збільшення висоти трубок до 4-5 м створюється значна

різниця тиску парорідинного стовпа в трубках 1 і стовпа рідини в циркуляційній трубці 4, що забезпечує інтенсивну природну циркуляцію. Цьому сприяє також те, що циркуляційна труба не обігривається. Для покращення відділення пари і рідини парорідинна суміш вводиться з гріючої камери в сепаратор тангенціально. Перевага цих випарних апаратів полягає також у тому, що гріюча камера розміщена окремо; це дає змогу легко її оглядати і здійснювати очищення внутрішньої поверхні. Апарат з примусовою циркуляцією принципово відрізняється від апарата з винесеною гріючою камерою тим, що між циркуляційною трубою 4 і нижньою камерою 5 (див. рис 4.31) встановлюється насос. Швидкість рідини в трубках за рахунок роботи насоса піднімається до 2-2,5 м/с, що забезпечує більш інтенсивну циркуляцію.

Роторно-плівкові випарні апарати (рис. 4.32) все частіше застосовується для випаровування високов'язких і пастоподібних термолабільних розчинів. Всередині гріючої камери 3, яка оточена нагрівальною паровою оболонкою 4, є ротор 5 з лопатями 6. Ротор приводиться в обертання з частотою 1-3с-1. Надходячи в апарат, розчин розподіляється устроєм 2, що обертається разом з валом ротора, по стінці корпусу і стікає у вигляді тонкої плівки під дією сили тяжіння. Під час течії розчин концентрується внаслідок випаровування розчинника. Вторинна пара виходить з апарата через сепаратор 1. У міру випарювання розчинника на стінці корпусу утворюється пастоподібний або навіть сухий залишок розчиненої речовини, що знімається з поверхні яка обігривається лопатями 6. Проміжок між лопаттю і стінкою апарата становить 0,4-1,5 мм. Час перебування рідини в апараті (залежно від продуктивності, фізичних властивостей розчину, частоти обертання ротора) становить 10-30 с, що є головною перевагою апарата.

Апарати мають площу робочої поверхні до 40 м<sup>2</sup> і рекомендуються для проведення процесів випаровування широкої номенклатури харчових продуктів - молока, цукрових розчинів, екстрактів кави та цикорію, клейових бульйонів, соків, томатної пасти та ін.

Д\3 Опрацювати тему.